

PUENTE CARRETERO SOBRE EL ARROYO LEYES: 69 AÑOS DE SERVICIO E HISTORIA

YORIS, Adrian^{1*}; BELBEY, Federico¹; CABAÑA, Guillermo¹; ULIBARRIE, Néstor¹; FERRANDO, Guillermo²; CITRONI, Jorge¹; PUGA, Raúl¹

1- Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI)

Facultad Regional Santa Fe – Universidad Tecnológica Nacional

Lavaysse 610 – (S3004EWB) Santa Fe – ARGENTINA

2- Departamento Puentes – Dirección de Estudios y Proyectos

Dirección Provincial de Vialidad (DPV)

Bv. Muttis 880 – (S3002CLF) Santa Fe – ARGENTINA

* ayoris@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una pequeña reseña histórica de este puente que se encuentra ubicado a 36 km al noreste de la ciudad de Santa Fe, sobre la ruta provincial N° 1 (**Imagen 1**). Haciéndose mención del surgimiento del arroyo Leyes.

El puente es completamente de hormigón armado y el sistema utilizado para su construcción fue el de "viga hueca", aplicado por primera vez en nuestro país en 1942, año de su inauguración. Se realiza una descripción de los métodos constructivos utilizados y características principales. El puente original tiene una longitud de 182m que se cubren con tres tramos de 53, 76 y 53 m formando una viga Gerber. Además, se dan a conocer las exigencias a las que se encuentra sometido.

Actualmente, la luz del puente se ha extendido a 235 metros, por medio de dos tramos isostáticos agregados en las cabeceras norte y sur, debido a la continua erosión de las márgenes de este arroyo.

Para evaluar su estado actual se realizó una inspección visual y ensayos no destructivos consistentes en: determinación del avance del frente de carbonatación e índice esclerométrico en los cordones laterales correspondientes al tablero.



Imagen 1. Ubicación del puente sobre el arroyo Leyes.

1. ORIGEN DEL ARROYO LEYES

Algunas investigaciones [1] concluyeron que el arroyo Leyes a principios del siglo XIX no existía como tal. De hecho, según cartografías y narraciones realizadas por los españoles conquistadores no dan testimonio de la existencia de este arroyo, únicamente muestran la presencia de una especie de canal de desborde de crecidas en la actual ubicación, por lo que la laguna Setúbal recibía aguas del río Paraná solamente en las grandes inundaciones (**Imagen 2**).

Por otro lado, se han hallado cartografías del 1800 donde se describe a la laguna Setúbal como salobre, por lo que no pudo haber existido una conexión permanente con el Paraná (como existe hoy por medio del arroyo Leyes) y sí en cambio con el sistema de los ríos Saladillos que aportan sus aguas a dicha laguna.

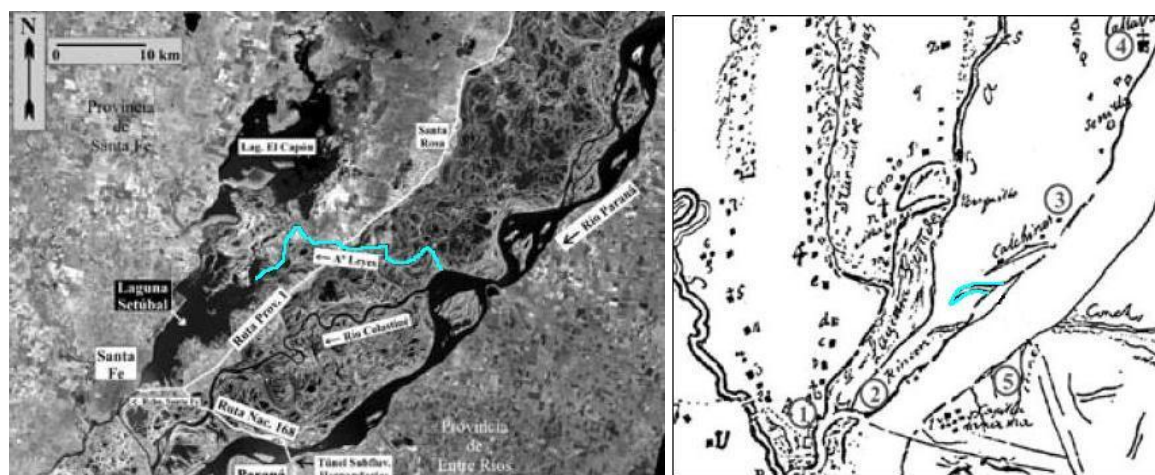


Imagen 2. [1] Imagen satelital actual (izquierda). Mapa jesuita de mediados del siglo XVII (derecha). Referencias: 1- Santa Fe, 2- Rincón, 3- Santa Rosa de Calchines, 4- Cayastá y 5- Paraná.

Este canal se fue profundizando cada vez más por las diversas crecidas del río Paraná hasta adquirir verdadera importancia recién en el siglo XX. A su vez, una zanja superficial que construyeron pobladores rurales de la zona a principios de siglo XIX, magnificó su profundización. Dicha zanja, que atravesaba el albardón costero, fue construida con el fin de traer agua desde el río Paraná hacia la laguna Setúbal, que en ese momento se encontraba en un nivel muy bajo debido a una gran sequía.

2. CONSTRUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PUENTE

El procedimiento constructivo de este puente fue utilizado por primera vez en nuestro país y constituye la primera estructura en su género en Sudamérica, existiendo unas pocas más de características similares en el mundo al momento de su construcción (1942). Dicho procedimiento corresponde a la *viga hueca de hormigón armado*. La ejecución de la estructura estuvo a cargo de la empresa GEOPE (Compañía General de Obras Públicas S.A.).

El sistema fundamental del puente consiste en una viga Gerber de 182m de longitud, constituida por tres tramos, de 53, 76 y 53 m de luz (**Imagen 3**), los que se afirman en dos estribos construidos, en ese momento, sobre las barrancas y dos pilares que se levantan sobre el arroyo. En la actualidad dichos estribos se encuentran en el lecho del río debido la erosión de las márgenes.

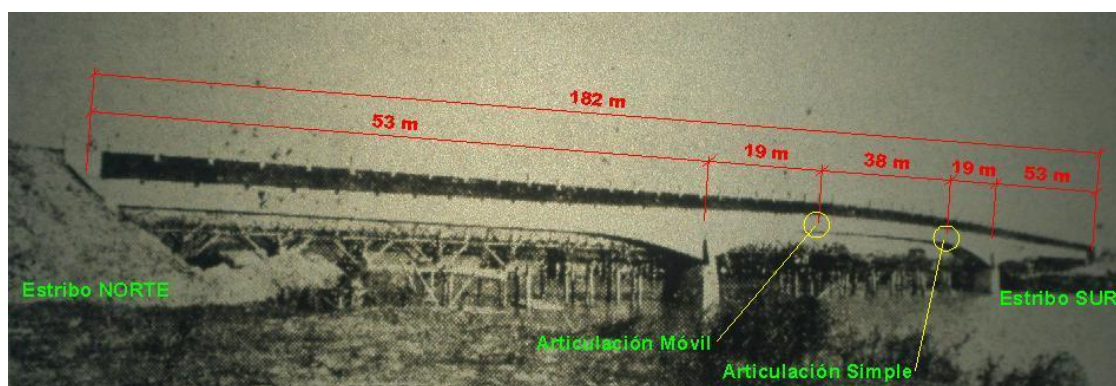


Imagen 3. Vista de la obra al inaugurarse.

Cada estribo, con sus tabiques de contención, descansa sobre un cilindro hueco de 22m de profundidad (-8,82m IGN) y 5m de diámetro exterior, alcanzando sus paredes un espesor de 0,70m en la base y 0,50m en la parte superior. Cada pila se apoya en una fundación elíptica hueca de 26m de profundidad (-13,87m IGN), de diámetro mayor 8,70m y 5,80m de diámetro menor.

Para levantar este puente se construyó previamente un puente de servicio de madera de eucaliptus, apoyado en el lecho del arroyo, lo que brinda una idea de la menor profundidad que tenía el cauce en esa época (Imagen 4).

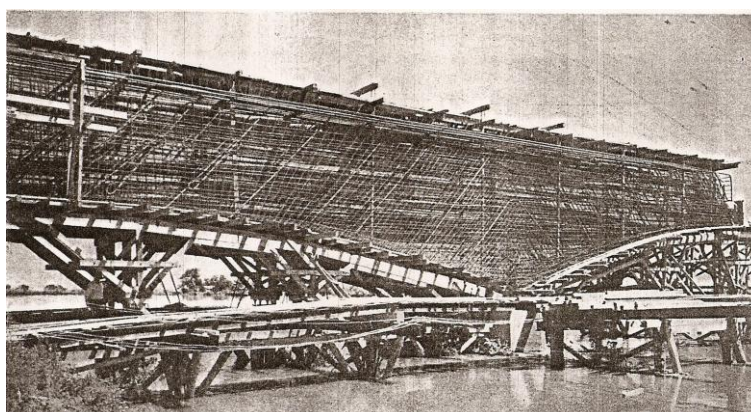


Imagen 4. Vista de las armaduras y el puente de servicio.

Las alturas libres entre el borde inferior del puente y la creciente máxima (registrada en 1905) alcanzan los 3,40m y 1,90m, para el tramo medio y los extremos respectivamente.

La altura de las vigas principales (huecas de sección rectangular) oscilan entre 2,60m sobre los estribos, 3,40m sobre el lugar de los momentos máximos de los tramos extremos y suspendidos, y sobre los pilares presentan un acartelamiento parabólico llegando a 6,20m. Los espesores de las paredes son 20, 15 y 19cm respectivamente, siendo 15cm el mínimo adoptado en vista del gran diámetro de las armaduras, barras de acero liso de 50,8mm.

La calzada de dos trochas tiene 6m de ancho, estando la losa del tablero protegida por una capa de desgaste de sección parabólica, constituida por hormigón de canto rodado de espesor variable entre 4 y 7cm. La losa del tablero es de 16cm de espesor y sirve como cordón de compresión. La armadura de la misma se colocó en

sentido transversal a las vigas, de modo de evitar fatigas superpuestas en dirección longitudinal (caso de losa cruzada). A los lados del cordón se encuentra una angosta vereda en voladizo para peatones de 0,55m.

En ambos lados de los pilares fue menester adoptar entre las vigas principales una losa inferior de compresión con espesores que varían entre 30 y 40cm, mientras el tablero en esa zona pudo reducirse de 16 a 14cm, lo suficiente para soportar las cargas móviles (**Imagen 5**).

Para el hormigonado de los tramos extremos, cada viga principal se subdividió en cuatro secciones (**Figura 1**), separadas entre sí por tres espacios vacíos, los que se mantuvieron el tiempo suficiente para reducir el peligro de fisuras por contracción por fragüe y por asentamientos desiguales de la cimbra.

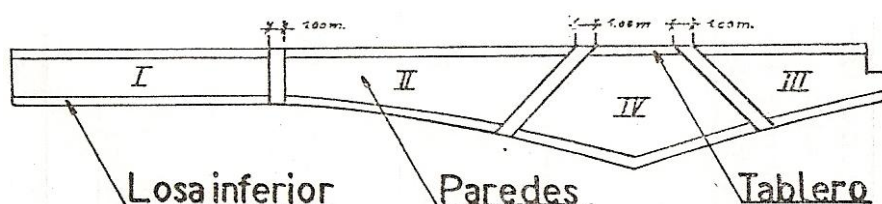


Figura 1. Secciones de hormigonado.

Cada una de las secciones antes mencionadas fueron subdivididas en otras tres partes (en sentido transversal al puente). Dichas subdivisiones son: (1) Losa inferior de las vigas huecas, (2) Paredes de las vigas huecas y (3) Tablero. (**Figura 2**)

Estas secciones fueron hormigonadas por separado y el descimbrado se realizó por etapas para evitar la formación de fisuras en el hormigón.

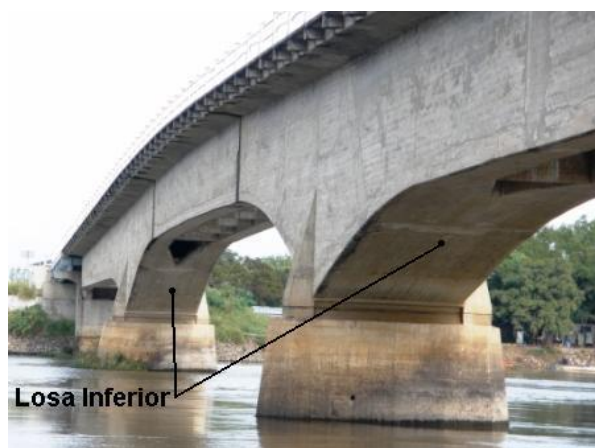


Imagen 5. Losas inferiores.

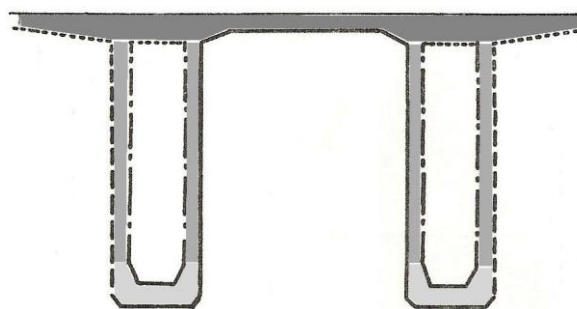


Figura 2. Sección transversal del puente.

2.1. Historia

A continuación se detalla la cronología encontrada para los antecedentes de la construcción del puente y posteriores sucesos de importancia:

- **1911:** En la ubicación de la actual estructura, se construye un puente de madera de 140 m de longitud. Luego de dos años, una inundación arrasa con los terraplenes de acceso, quedando inutilizado a los efectos del tránsito hasta 1923.

- **1937:** Se denota el deplorable estado del puente de madera, debido a ondulaciones en el piso, tabloncillos sueltos, pilotes carcomidos e inseguros que hacían prever el colapso de la estructura ante cualquier crecida del Paraná.
- **1941:** 25 de julio. La Dirección Nacional de Vialidad inició la construcción de un puente de hormigón armado sobre el arroyo Leyes en reemplazo del viejo puente de madera.
- **1942:** 5 de octubre "Día del camino", el puente existente sobre el arroyo Leyes se habilita al tránsito.
- **1966:** 6 de marzo. El estribo sur del puente es arrasado por una excepcional crecida y se coloca un puente Bailey de 23 metros para salvar la luz libre.
- **1968:** Se contempla la posibilidad del cegamiento del arroyo Leyes mediante el denominado "Plan Cabral", justamente a la altura del puente carretero.
- **1970:** Después de 4 años se reemplaza el puente Bailey por un tablero de hormigón armado.
- **1974:** La Dirección Provincial de Vialidad (DPV) encarga un estudio de ensanche de la calzada de 6m a 8,30m, pero nunca se llevó a cabo.
- **1982 – 1983:** Por una crecida extraordinaria se produce el deslizamiento del acceso sur del puente, quedando interrumpido el tránsito. Por este mismo motivo se construye una ampliación de hormigón postesado en la cabecera norte (de 30 m), que sumada a la extensión existente en la cabecera sur, resulta el puente con una luz total de 235 m.
- **1983 – 1991:** Se arrojan hasta 24000 tn de gaviones, roca de primera voladura y escoria de acería de 5 a 20 cm de diámetro para protección de la pila y estribo sur.
- **1987 – 1992:** Se analiza en modelos físicos variantes de comportamiento hidráulicos de distintas obras de corrección del cauce, concluyéndose que el puente necesita mayor luz.
- **1995:** La DPV encara el estudio de construcción de un nuevo puente aguas arriba del existente de 435 m de luz.
- **1997:** Se constata un movimiento de la pila del pórtico ejecutado en la ampliación sur en 1970 y se instala un puente Bailey ante la precaria estabilidad del tramo con un riesgo cierto de colapso.
- **1998:** El fenómeno de "El Niño" provoca una creciente de magnitud que mantuvo en emergencia a la provincia (**Imagen 6**). El 28 de abril del mismo año, y debido a su inestabilidad, la DPV provoca la caída controlada del tramo de 23m de la cabecera sur, derribando el pórtico debilitado por la erosión.

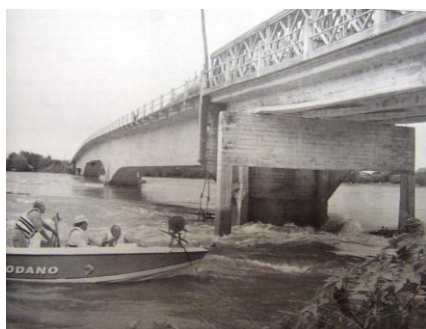


Imagen 6. Nivel del arroyo Leyes en crecida del año 1998.

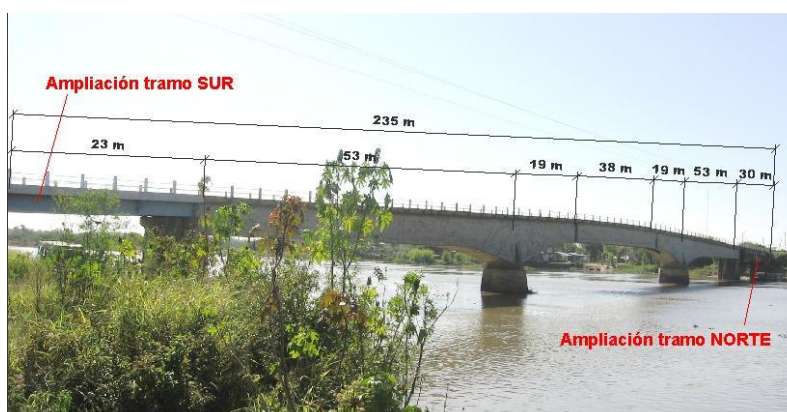


Imagen 7. Vista actual del puente con ampliación de los tramos sur y norte.

- **2007:** Luego de 10 años se reemplaza el puente Bailey mediante un tramo isostático, cuya estructura mixta está formada por vigas metálicas sobre las que se ejecutó un tablero de hormigón armado de 18 cm de espesor, continuando la luz del puente en 235m (**Imagen 7**).

3. CONDICIONES DE EXPOSICIÓN

El puente carretero sobre el arroyo Leyes se encuentra emplazado sobre el arroyo homónimo. El mismo recibe aportes fundamentalmente del río Paraná copiando casi en forma exacta las variaciones de caudales de este último (**Figura 3**).

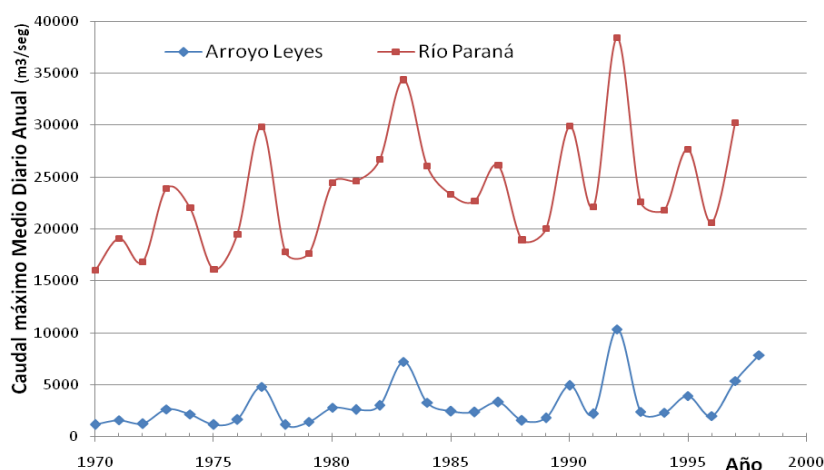


Figura 3. Crecidas registradas en el período 1970 - 1998.

Las erosiones de las márgenes del arroyo Leyes se dan en forma continua con cada crecida del río Paraná. En este aspecto, la crecida de 1982-1983 modificó marcadamente la morfología del arroyo, cuyas características se mantienen hasta la actualidad. Esta crecida aumentó el ancho medio general del curso alrededor de un 20 % y sus caudales a nivel de desborde en aproximadamente 40 % [2].

Además de las erosiones en las márgenes, otro de los grandes problemas son las erosiones en el lecho del arroyo, las que se ven afectadas por las crecidas y estiajes de río Paraná que llevan a conformar grandes depresiones (pozos) en zonas próximas al puente. Estas depresiones, en algunos casos, llegan a tener menor cota que los pilares del puente en estudio (**Imagen 8**). Esto ha provocado que, en reiteradas ocasiones, se proceda al arrojado de piedras de primera voladura, gaviones y escoria de acería para proteger los pilares, estribos y las márgenes próximas al puente (particularmente la del lado sur que es la más afectada); lo que ha dado lugar a la conformación de conos de defensa en los pilares originales con pendientes muy marcadas (45° aproximadamente).

Las protecciones ejecutadas son un mero paliativo al problema de fondo, el cual es la escasa sección de paso del arroyo bajo el puente. Aparentemente una razón por la cual no ha colapsado ante los graves eventos descritos (aún con las protecciones mencionadas) es porque se presenta un efecto de embalse aguas arriba que atenúa las velocidades de paso, por la natural oblicuidad del flujo de las aguas que alcanza a ser del orden de los 45° en las crecidas extraordinarias (**Imagen 9**). Este efecto se apreció ya en 1982 con la formación de una gran olla

aguas abajo (megavórtice) con cota de erosión máxima -26,00m IGN. Podría especularse de que si el cauce fuera recto en este tramo el puente ya habría colapsado.

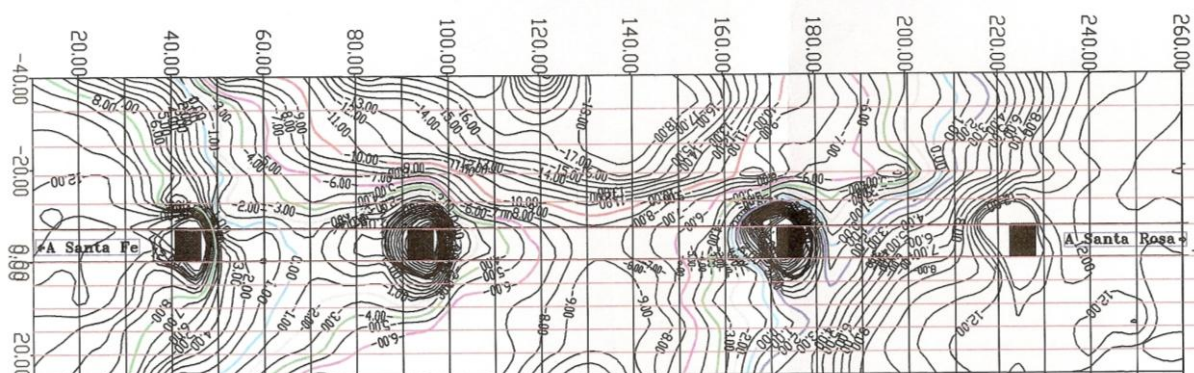


Imagen 8. Batimetría. Fecha 12/08/04. Cota pelo de agua: 14,17m IGN.

Con respecto al tránsito que circula por este puente, en la **Tabla 1** se dan a conocer los resultados de un estudio de tránsito actualizado al año 2010. Si bien la cantidad de vehículos pasantes por el puente no presenta inconveniente, si los es el aumento del tamaño y capacidad de porte de los mismos (refiriéndonos a la época en que fue diseñado el puente). Esto particularmente debido a su angosta calzada de 6m que, en algunas ocasiones no permite el cruce de vehículos de gran tamaño en forma simultánea en ambas trochas, provocando demoras en el tránsito.

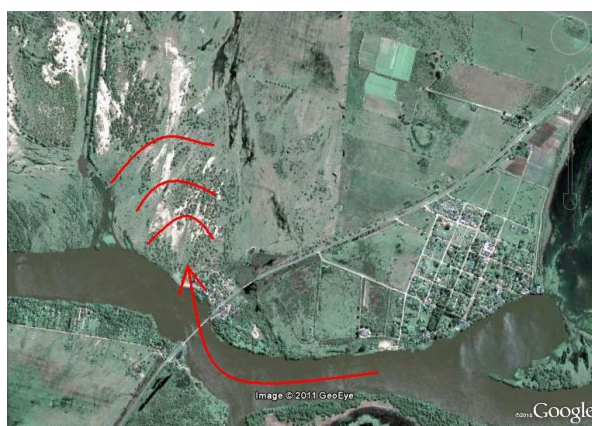


Imagen 9. Disminución de la sección del arroyo bajo el puente y oblicuidad del flujo en crecidas.

Tabla 1. Estudio de tránsito correspondiente al año 2010.

Ruta Provincial Nº 1	
San Jose del Rincon (Acceso) - Helvecia	
Autos/Camionetas:	1710
Omnibus:	50
Camiones Livianos:	134
Camiones Pesados:	163
TMDA:	2057

4. EVALUACIÓN

Las evaluaciones de la estructura se realizaron sobre la carpeta de rodamiento y cordones laterales debido al difícil acceso que presentan el resto de las partes del puente.

Para llevar adelante las evaluaciones se optó por realizar un análisis visual y ensayos no destructivos: determinaciones del índice esclerométrico y del avance del frente de carbonatación.

Se escogió esta alternativa de relevamiento debido a que, por un lado, no se compromete el puente a nivel estructural y por el otro, tiene la ventaja de realizar

ensayos simples y rápidos con la posibilidad de generar un gran número de determinaciones sobre la estructura [3].

En la **Figura 4** se indica la posición de los puntos de evaluación sobre el tablero del puente.

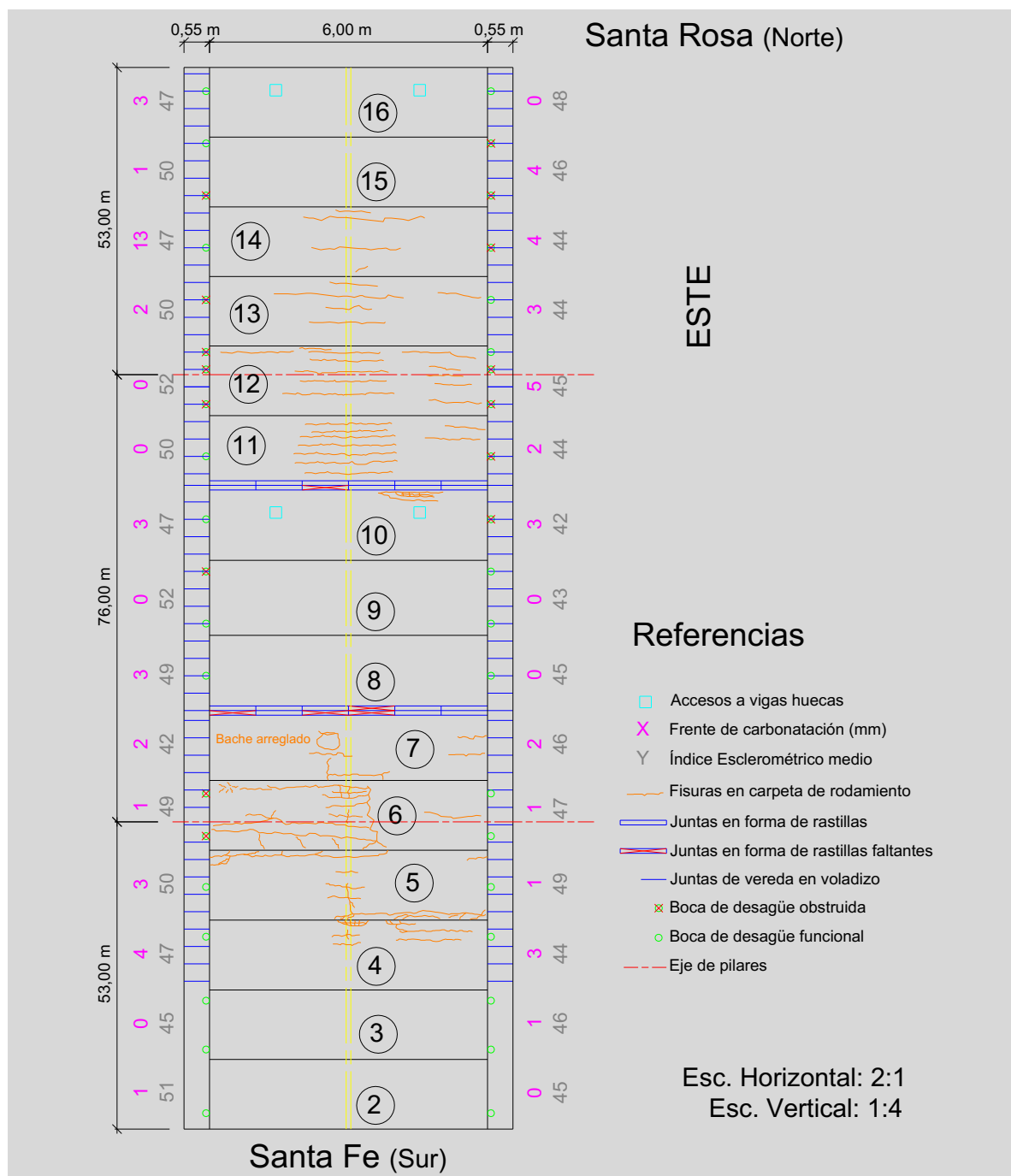


Figura 4. Resumen de evaluaciones realizadas sobre tablero del puente.

4.1. Carbonatación

La carbonatación es una patología que se produce cuando el dióxido de carbono del aire ingresa a la masa de hormigón a través de los poros interconectados con el exterior, y en presencia de agua, transforman al hidróxido de calcio en carbonato de

calcio. Como consecuencia de este fenómeno, se produce la disminución del pH original del hormigón (pH que varía entre 12-14) llevándolo a valores cercanos a 9. Esta disminución, al alcanzar las barras de acero en el hormigón, las despasivan, dejándolas propensas al inicio del proceso de corrosión.

Una manera sencilla de medir el pH en el hormigón, y consecuentemente inferir el avance del frente de carbonatación en el mismo, es retirar un pequeño sector del hormigón de recubrimiento y rociar la perforación con una solución alcohólica de fenolftaleína, habiendo eliminado previamente el polvo y material suelto de la superficie. La fenolftaleína es el indicador utilizado comúnmente ya que su rango de viraje está entre pH 8,2 y pH 9,8, variando su tonalidad de incoloro a violeta rojizo cuando no está carbonatado.

La determinación del avance del frente de carbonatación se realizó en ambos lados de los cordones laterales del puente en el sector medio correspondiente a cada uno de los paños que conforman la carpeta de rodamiento (**Imagen 10**). Los resultados obtenidos indican un avance del frente irregular, detectándose en algunos sectores carbonatación nula, en otros, una carbonatación media entre 1mm y 5mm y en un solo caso (corroborado por repetición del ensayo) un frente de carbonatación de 13mm (**Figura 4**).

Sin dejar de destacar que la estructura del puente presenta 69 años de servicio, los frentes de carbonatación se pueden considerar bajos si los comparamos con evaluaciones de estructuras actuales o con trabajos de investigación recientes, donde en un período de 3 años de exposición se detectan avances del frente de carbonatación importantes [3], [4].



Imagen 10. Determinación del frente de carbonatación. Presencia de pintura en cordones.

4.1. Esclerometría

Para la determinación del índice esclerométrico se empleó un esclerómetro tipo N, (energía de impacto 0,225 kgm), marca Cosacov. El funcionamiento de este equipo es muy simple, ya que consiste en la medición en una escala graduada, del rebote que sufre una masa que es proyectada contra la superficie del hormigón al liberarse un resorte previamente comprimido.

Los valores del rebote que se leen en la escala graduada están relacionados con la dureza del mortero superficial del hormigón, y a su vez, si se acepta que el hormigón es homogéneo en todo su espesor la dureza medida permite estimar la resistencia a compresión del hormigón.

Cabe aclarar que, el fenómeno de la carbonatación juega un rol muy importante para la interpretación de los resultados de este tipo de determinaciones, ya que la carbonatación induce el endurecimiento superficial del hormigón provocando que los valores del índice esclerométrico no se correspondan al del resto de la estructura. Los resultados obtenidos de la medición del índice esclerométrico varían entre 42 y 52 (**Figura 4**).

Las determinaciones de índice esclerométrico se realizaron en la zona próxima a las determinaciones del frente de carbonatación (**Imagen 11**). Para la preparación de la superficie se procedió a alisarla desgastando el hormigón de recubrimiento mediante una piedra abrasiva. Se efectuaron 4 determinaciones por cada elemento definido y las mediciones se realizaron en forma lineal debido a la poca altura que presentaban los sectores del cordón analizado.



Imagen 11. Determinación del índice esclerométrico.

4.3. Análisis Visual

La vista puede proporcionar información de primera mano inalcanzable por otros medios, la inspección visual en una evaluación de estructura representa el 80% de la información total que se puede obtener, y solo representa un 20% del costo total [4].

A tal efecto el análisis visual se enfocó en el relevamiento de patologías sobre la carpeta de rodamiento correspondiente al tablero del puente. En este sentido se identificaron las bocas de desagües pluviales, constatándose que la mayoría de estas se encuentran obstruidas. Muchos de estos desagües coinciden en su ubicación con las juntas de la vereda en voladizo, por lo que estos sectores permiten el escurrimiento del agua de lluvia hacia la losa del tablero.

La junta de dilatación estructural del tablero consiste en tapajuntas en forma de rastilla, las cuales presentan faltantes en algunos sectores (**Imagen 12**). Por falta de sellado, permiten el ingreso de las aguas de lluvias que caen directamente sobre las articulaciones de la viga Gerber (**Imagen 13**).



Imagen 12. Tapajuntas en forma de rastillas.



Imagen 13. Articulación fija y móvil (respectivamente) del tramo Gerber.

Se realizó el relevamiento de fisuras sobre la carpeta de rodamiento (**Imagen 14**), la cual es de hormigón con canto rodado (a diferencia del hormigón estructural que contiene piedra partida) con un espesor que varía entre 4 y 7cm. Las fisuras relevadas se encuentran esquematizadas en la **Figura 4**, pudiéndose observar que las mismas se extienden en mayor nivel en los primeros 4 paños próximos a las juntas de dilatación de la estructura.

Las barras de acero de la losa del tablero se encuentran perpendiculares a las vigas; por lo que las fisuras mencionadas podrían atribuirse a una posible corrosión de las barras de acero de la losa del tablero. Esta suposición se ve respaldada debido a que las juntas de la carpeta de rodamiento no se encuentran selladas o el material de sellado es muy antiguo y ya no cumple con su función, pudiendo ingresar el agua de lluvia por estos sectores, teniendo en cuenta a su vez que muchos de los desagües se encuentran tapados.

Adicionalmente se observa que las fisuras se encuentran en zonas de momentos flectores negativos de las vigas principales, lo que podría denotar un acompañamiento fallido de la carpeta de rodamiento a las deformaciones por tracción de dichas vigas en estos tramos.

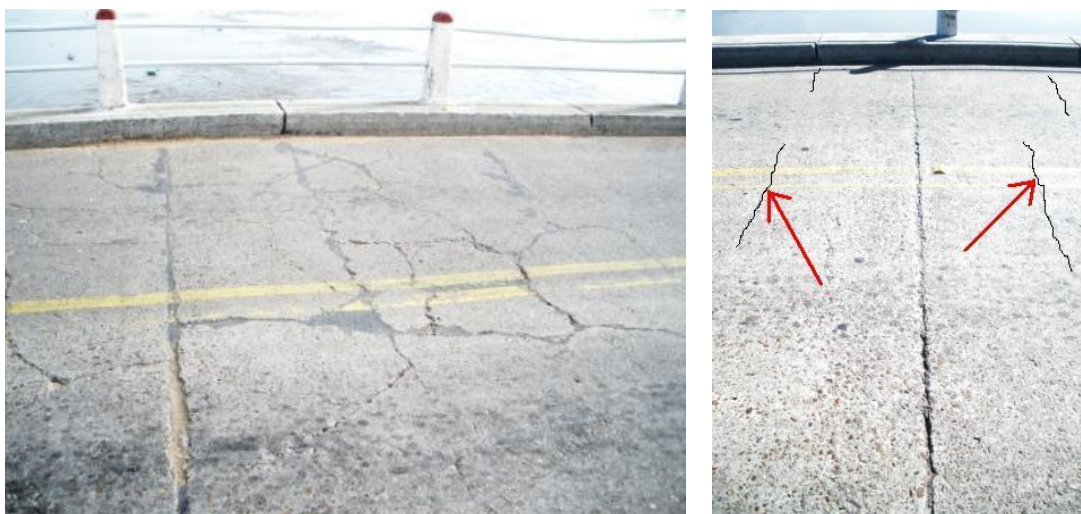


Imagen 14. Fisuras tipo en los paños del sector sur y norte respectivamente.

CONCLUSIONES

En base a las evaluaciones realizadas y búsqueda de antecedentes se puede concluir que:

1. El principal problema del puente es la erosión de las márgenes y el lecho del arroyo Leyes, afectando la estabilidad de la estructura. Este fenómeno fue el responsable de numerosas intervenciones desde su construcción hasta la actualidad, sin embargo, su estructura original, en general, se encuentra en buen estado. Debido a estas afectaciones, que han causado innumerables inconvenientes, la estructura del puente como tal se ha visto opacada, restándole importancia a su trascendencia e historia.
2. En lo que respecta a su estado de conservación, la estructura no presenta signos visibles de corrosión, aunque sí fisuras, particularmente en las juntas del tablero.
3. Los cordones presentan restos de pinturas, pero no se pudo estimar su fecha de aplicación y repintados. Esto, sumado a una posible compactación diferida del hormigón en los diferentes sectores, podrían ser los causantes del avance irregular del frente de carbonatación.
4. Respecto de la evaluación visual de las fisuras, es necesario realizar más estudios para verificar, mediante la detección de barras (pacómetro), si las mismas coinciden con la ubicación de las fisuras. Se estima que existe una posibilidad muy grande de que la causa mencionada anteriormente sea cierta.
5. El puente fue inaugurado en 1942, lo que pone en evidencia que su estructura se encuentra próxima al límite de su vida útil, a lo cual debe agregarse las deficiencias desde el punto de vista de su diseño (falta de visibilidad, insuficiencia de luz, etc.). Todo esto ha conllevado a proyectarse un puente nuevo aguas arriba del existente.

REFERENCIAS

- [1] – Ramonell C. (2009), "Y otro día nació el arroyo Leyes", *Revista ConCIENCIA*, Vol. 19, Año 15, Diciembre de 2009, pp. 8.
- [2] – Montagnini M. D., Basualdo M. A., Alarcón J. J., Frutos C., Pertovt L. E., Ramonell C. G. y Amsler M. L. (2005), "Evolución Morfológica de la embocadura de los ríos Colastiné y Leyes, planicie aluvial del Paraná medio", *Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Río*, Neuquén, Argentina, 2-4 de Noviembre de 2005.
- [3] Carrasco M. F., Miretti R., Passerino C., Grether R. O. (1997) "Estimación de la resistencia a compresión del hormigón mediante el método combinado ultrasonido/esclerometría". *CORENDE - Congreso Regional de Ensayos No Destructivos y Estructurales. Comisión Nacional de Energía Atómica* - Universidad Tecnológica Nacional, Mendoza, Octubre de 1997, pp. 139-152.
- [4] – Segovia M. D., Yoris A. I., Guillarducci A., Defagot C. A., Ulibarrie N. O. (2009) "Carbonatación de Estructuras de Hormigón Armado en la Región Centro-Este Argentina: Influencia de la Contaminación Ambiental Urbana". *Revista Tecnología y Ciencia*, Año 8, Nº 17, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Noviembre 2009, pp. 11-23.
- [5] – Yoris A. I., Segovia M. D., Carrasco M. F., Belbey F., Guillarducci A., Defagot C. A., Ulibarrie N. O., Marcipar A. (2010). "Carbonatación del Hormigón Armado: Influencia de la Contaminación Ambiental Urbana". *Cinpar 2010, VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras*, Córdoba, Junio de 2010, pp. 37.
- [6] – Traversa L. P., Di Maio A. A., Iloro F. y Martínez G. A. (2010), "Patologías en Construcciones de fines del siglo XIX y principios del XX", *Cinpar 2010, "VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras"*, 2-4 de Junio de 2010, Córdoba, Argentina, pp. 96.